

NGHIÊN CỨU VÀ PHÁT TRIỂN CƠ CẤU THU HOẠCH ỚT CHUÔNG SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ XỬ LÝ ẢNH VÀ TAY GẤP MỀM

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF CHILI HARVESTING MECHANISM USING IMAGE PROCESSING AND SOFT GRIPPER TECHNOLOGY

Lê Hoài Nam*, Trần Quang Khải

Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam¹

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: lehoainam@dut.udn.vn

(Nhận bài / Received: 26/7/2023; Sửa bài / Revised: 22/11/2023; Chấp nhận đăng / Accepted: 23/11/2023)

Tóm tắt - Việc áp dụng công nghệ vào ngành nông nghiệp trên thế giới để thay thế sức lao động của con người đang được phổ biến và phát triển. Bên cạnh sự phát triển đó là sự ra đời hàng loạt các công nghệ mới như trí tuệ nhân tạo, Internet vạn vật, học máy... và phải kể đến công nghệ cảm biến cũng như vật liệu hỗ trợ phục vụ trong ngành nông nghiệp. Từ việc trồng, chăm sóc cây lương thực, thực phẩm đến việc thu hoạch chúng đều được áp dụng công nghệ kỹ thuật để tạo năng suất tốt nhất khi không cần đến sức lao động của con người. Bài báo này trình bày kết quả ban đầu trong việc ứng dụng một số công nghệ kể trên vào ngành nông nghiệp thu hoạch ớt, cụ thể như sau: công nghệ xử lý ảnh để nhận diện và xác định vị trí quả ớt chuông trong không gian, công nghệ tay gấp mềm để cầm nắm và thiết kế cơ cấu để cắt rời cuống của quả ớt chuông.

Từ khóa - Robot 6 bậc tự do; cảm biến ngoại vi Kinect; tay gấp mềm; hệ thống cắt bằng hồ quang điện

1. Đặt vấn đề

Trong những thập kỷ gần đây, công nghệ tiên tiến và các kết quả nghiên cứu khoa học mới nhất đã được áp dụng trong nông nghiệp nhằm nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm. Các nhà nghiên cứu đang tham gia cung cấp công nghệ cao và dài hạn, các giải pháp về cơ giới hóa và tự động hóa ngành nông nghiệp bằng cách sử dụng các dây chuyền sản xuất tự động và bán tự động có thể thay thế nhân lực trong các công việc lao động chân tay. Đặc biệt, robot bắt đầu thay thế con người làm những công việc tinh vi hơn như thu hoạch nông sản, hoa quả... [1]. Hơn nữa, trong điều kiện khí hậu ảnh hưởng bởi hiệu ứng nhà kính, các lực lượng lao động lành nghề trong ngành nông nghiệp có thể chấp nhận các công việc lặp đi lặp lại trong điều kiện khí hậu này đang giảm nhanh chóng. Theo kết quả khảo sát 762 nông dân thực hiện bởi Liên đoàn Cục trang trại California – Hoa Kỳ, 55% nông dân được khảo sát cho biết họ đang phải đối mặt với việc thiếu nhân lực lành nghề và 69% nông dân trả lời họ gặp vấn đề khi thuê các nhân lực thời vụ [2]. Liên Hợp Quốc ước tính dân số thế giới sẽ tăng lên đến 9,7 tỷ người vào năm 2050, thế giới sẽ cần nhiều lương thực hơn và nông dân sẽ phải đối mặt với áp lực lớn để đáp ứng nhu cầu thực phẩm. Giải pháp cho các thách thức trên là sự áp dụng các hệ thống tự động thay thế nhân lực trong các nhiệm vụ mà một người thực hiện kém hơn thiết bị tự động về độ chính xác, độ lặp lại và chu kỳ làm việc.

Việc thu hoạch nông sản là quá trình ít được quan tâm và áp dụng tự động hóa còn hạn chế. Một số hệ thống tự

Abstract - The application of technology to the agriculture in the world to replace human labor is popular and growing. Besides that development is the birth of a lot of new technologies such as Internet of Things, machine learning, artificial intelligence, etc., and sensor technology as well as materials technology for the agriculture. From planting and taking care of staple-food crops to harvesting them, technology is applied to create the best yield when no human labor is required. This paper focus on the results of research on the use of technologies in chili harvesting as follows: image processing technology to detect and locate chili, soft gripper technology grasp to chili and the mechanism design to cut off the stem of bell pepper.

Key words - 6 DoF robot; Kinect sensor; soft gripper; electric arc thermal cutting system (EATCS).

động có thể thu hoạch các loại nông sản như ô liu và hạnh nhân sử dụng máy lắc thân hoặc cành. Tuy nhiên, việc thu hoạch các loại nông sản dễ bị hư do tác động vật lý như cam, chanh, ớt ngọt hoặc đào không thể thực hiện bằng cách sử dụng máy lắc. Phương pháp thu hoạch các loại nông sản này hiện nay chủ yếu là thủ công. Phương pháp này ngụ ý sử dụng nhân lực tạm thời làm tăng chi phí cuối cùng của nông sản trên thị trường. Giải pháp thực hiện việc thu hoạch mà không có nhược điểm của hoạt động thủ công là việc sử dụng các hệ thống tự động có khả năng thực hiện theo cá nhân hóa, sử dụng chiến lược chọn lọc để chỉ thu hoạch nông sản với các điều kiện mong muốn [3].

Theo [3], để thu hoạch nông sản tự động một cách hệ thống, ba vấn đề chính cần được giải quyết:

- Thiết kế, vận hành robot dựa vào đặc điểm của các loại cây;
- Vị trí và đặc điểm của nông sản trên cây;
- Cách cầm nắm và cắt rời từng loại nông sản.

Để giải quyết vấn đề đầu tiên, cần phải lựa chọn một tay máy phù hợp với loại quả cần thu hoạch. Một cánh tay robot phải được điều hướng trong môi trường có nhiều chướng ngại vật để nắm và đặt quả một cách chính xác. Quá trình này rất khác với việc gấp và thả một chi tiết trong dây chuyền lắp ráp. Cánh tay robot nông nghiệp phải linh hoạt trong môi trường phức tạp và đủ chính xác để không làm hỏng nông sản khi chúng được hái.

Để giải quyết vấn đề thứ hai, cần có một hệ thống nhận

¹ The University of Danang – University of Science and Technology, Danang, Vietnam (Hoai Nam Le, Quang Khai Tran)

dạng hiệu quả để có thể xác định vị trí và hướng của quả trên cây. Hơn nữa, hệ thống nhận biết phải có thể xác định vị trí các quả bị tắc hoặc các quả được che phủ một phần bởi lá trong môi trường trường biến đổi. Tuy nhiên, những ứng dụng này khó để tự động hóa. Ví dụ, một hệ thống robot được thiết kế để hái ớt chống gặp rất nhiều trở ngại. Hệ thống quan sát phải xác định vị trí và độ chín của trái ớt trong điều kiện khắc nghiệt, bao gồm sự hiện diện của bụi, bị lá che khuất, hay cường độ ánh sáng thay đổi, nhiệt độ thay đổi và chuyển động do gió tạo ra.

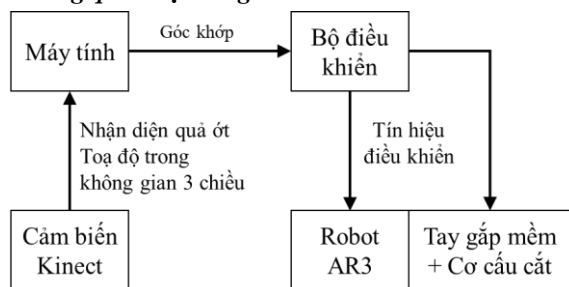
Để giải quyết vấn đề thứ ba, cần có một hệ thống cắt và kẹp hiệu quả để có thể thu hoạch nông sản trong các điều kiện khác nhau. Hệ thống này có thể hoạt động trong không gian chật hẹp. Hơn nữa, hệ thống hái phải có thể xử lý những nông sản mềm, mỏng trong thời gian thu hoạch với hình dạng và kích thước khác nhau của chúng mà không gây ra bất kỳ thiệt hại nào cho cây và có thể thực hiện hoạt động thu hoạch ở tốc độ cao hơn và chính xác hơn. Để tránh những hư hỏng vật lý đối với nông sản mềm và mỏng như quả ớt, việc thu hoạch thủ công được ưa thích, dẫn đến làm tăng đáng kể tổng chi phí sản xuất nông sản cũng như thời gian thu hoạch.

Trong khuôn khổ bài báo này, nhóm tác giả tập trung giải quyết các vấn đề đã nêu trên ứng dụng trong việc thu hoạch quả ớt chuông, cụ thể:

- Lựa chọn kiểu tay máy;
- Nghiên cứu việc huấn luyện hệ thống nhận diện được ớt và vị trí của chúng trong không gian;
- Nghiên cứu, mô phỏng và phân tích hiệu quả của tay gắp mềm;
- Phát triển và thử nghiệm cơ cấu cắt cường ớt.

2. Giải quyết vấn đề

2.1. Tổng quan hệ thống



Hình 1. Sơ đồ mô hình điều khiển

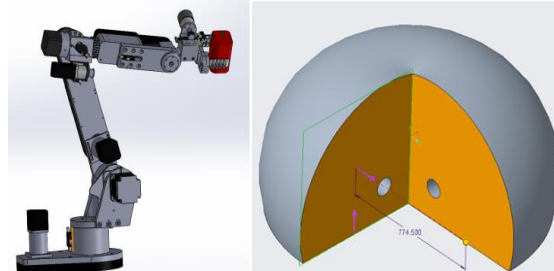
Sơ đồ khối tổng quan hệ thống được trình bày trong Hình 1 với nguyên lý sau: Cảm biến Kinect sẽ giúp nhận diện được các quả ớt chuông cần thu hoạch cũng như tọa độ của chúng trong không gian ba chiều. Các thông tin này được gửi về máy tính tính toán các góc khớp rồi gửi các tín hiệu điều khiển các khớp quay của robot cũng như tay gắp mềm và cơ cấu cắt.

2.2. Lựa chọn và điều khiển robot

Để hệ thống có khả năng linh hoạt, tiếp cận được đến quả ớt chuông cần thu hoạch từ mọi hướng thì robot được lựa chọn cần có 6 bậc tự do: ba bậc chuyển động định vị, ba bậc chuyển động định hướng. Nhóm tác giả sử dụng một loại robot 6 bậc tự do dạng chuỗi, mã nguồn mở tên là AR3

[4] do Chris Annin, một kỹ sư người Mỹ, phát triển để làm mô hình thực nghiệm cho nghiên cứu này.

Các bài toán động học và động lực học phục vụ cho việc điều khiển robot được trình bày trong [5], [6]. Khảo sát vùng làm việc của robot 6 bậc tự do ứng với các góc quay được quay đến tối đa giới hạn (từ 0 đến 360 độ) và hạn chế vùng làm việc bởi mặt phẳng ngang của bàn như sau [5]:

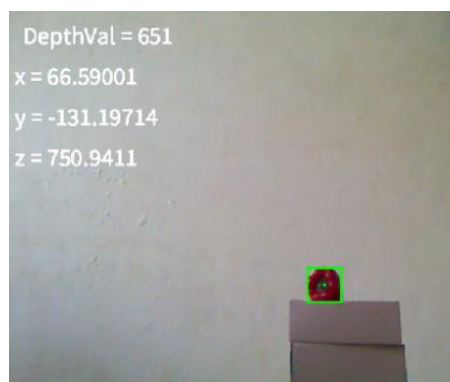


Hình 2. Robot 6 bậc tự do AR3 và không gian làm việc [5]

2.3. Huấn luyện hệ thống nhận diện ớt và xác định tọa độ ớt trong không gian

Kinect là thiết bị cảm biến ngoại vi có thể thu chuyển động phát triển bởi Microsoft [7]. Trong Kinect được tích hợp nhiều cảm biến trong đó có một camera hồng ngoại chuyên sử dụng cho việc xử lý dữ liệu về độ sâu, không gian 3D và một camera màu. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng Kinect dùng nhận diện ớt bằng camera màu, và kết hợp camera hồng ngoại để xác định tọa độ ớt trong không gian.

Bước đầu tiên, nhận diện và xác định tâm một quả ớt bằng phương pháp huấn luyện có tên gọi "Haar cascade" [8], [9]. Phương pháp dùng dữ liệu đầu vào là hàng loạt hình ảnh mang tính chất vật lý của một quả ớt, hay còn gọi là dữ liệu dương, và tách riêng chúng là hàng loạt hình ảnh không phải là ớt, hay còn gọi là dữ liệu âm, như lá, thân cây, bọ, bầu trời... Mỗi loại dữ liệu dương, âm có số lượng là 850 ảnh, với càng nhiều dữ liệu, việc nhận dạng càng trở nên chính xác.



Hình 3. Nhận diện và xác định vị trí ớt (mm)



Hình 4. Bản đồ độ sâu

Bước thứ 2, sau khi đã xác định được một quả ớt bất kỳ, hay có được tọa độ trong không gian 2 chiều (x và y), camera hồng ngoại phát tia hồng ngoại về ớt và phản ngược về lại một bộ thu. Từ đó, nhóm tác giả xác định được độ sâu (z) của ớt so với cảm biến. Đây cũng chính là nguyên lý hoạt động cho chức năng xử lý không gian 3D của cảm biến. Hình 4 cho biết bản đồ độ sâu mà Kinect xác định được, mỗi độ sâu khác nhau cho một màu khác nhau.

Kết quả sai số ở nghiên cứu này (so với thực tế) thể hiện ở bảng sau:

Bảng 1. Kết quả xác định tọa độ ớt trong không gian

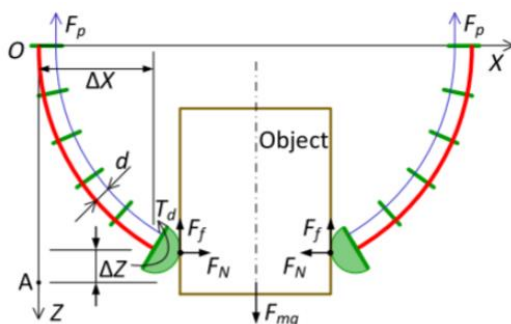
Sai số (mm)	Phương x	Phương y	Phương z
Lần 1	10	15	45
Lần 2	12	15	42
Lần 3	12	15	40

Kết luận: Kết quả nhận diện và xác định ớt tương đối khả quan nhưng chưa giải quyết được vấn đề khi nhận diện ở điều kiện ánh sáng khác nhau. Nguyên nhân sai số lớn một phần do việc tính toán hình học để xác định ớt làm tròn kết quả và một phần ảnh hưởng bởi kỹ thuật kiểm tra độ sâu của cảm biến.

2.4. Mô phỏng và thực nghiệm hiệu quả của tay gấp mềm

Tay gấp mềm là một loại tay gấp đặc biệt vật liệu siêu đàn hồi. Chúng kẹp lại khi được cấp khí và các khoang chứa ở một mức áp suất hợp lý, và nhả ra, trở lại trạng thái bình thường khi rút khí ra khỏi các khoang chứa đó. Tay gấp mềm truyền động bằng cấp khí (Soft Pneumatic Actuator, SPA) là loại tay gấp phổ biến được sử dụng trong ngành công nghệ y sinh, hay cả trong ngành công nghiệp thực phẩm, ngành nông nghiệp. Thực phẩm như bánh kẹo, hoa quả là loại dễ vỡ, dễ hỏng khi cầm nắm, đặc biệt trong công nghiệp sản xuất chế biến. Đây là lý do tay gấp mềm được dùng phổ biến trong các trường hợp này [10]. Bản chất của tay gấp mềm đem lại hiệu quả như vậy đơn giản vì chúng mềm, nhẹ, co giãn, hiệu quả trong việc cầm nắm mà không ảnh hưởng nhiều đến vật thể cần gấp.

Trong mục này, nhóm tác giả xác định lực kẹp của tay gấp mềm bằng mô phỏng và thực nghiệm. Sơ đồ về hoạt động nắm của bộ kẹp tay gấp mềm được thể hiện trong Hình 5, trong đó bộ kẹp đang nắm một vật và các ngón tay chịu sự lệch uốn do tác dụng của áp lực. Dưới tác dụng của áp suất, đầu ngón tay sẽ di chuyển đến vị trí cần thiết với các giá trị bù ΔX và ΔZ theo hướng X và Z, tương ứng, trong đó có xem xét sự cân bằng cơ học của bộ tay gấp mềm và một mô hình Coulomb [11] thông thường về ma sát, hành vi nắm bắt.

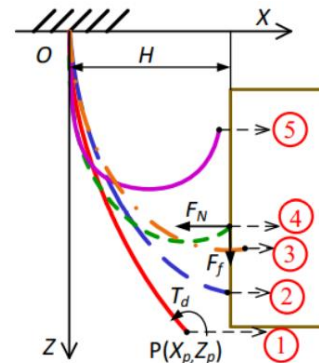


Hình 5. Hoạt động nắm bắt và phân tích lực

$$F_{mg} = \sum_{j=1}^N (F_{fj}) \tag{2.4.1}$$

$$F_{fj} = \mu_j \times F_{Nj} \tag{2.4.2}$$

Trong đó, F_{mg} là trọng lực của vật được cầm nắm, F_{fj} và F_{Nj} là lực ma sát và pháp tuyến giữa đầu ngón tay thứ j và vật, và μ_j là hệ số ma sát giữa đầu ngón tay thứ j và vật. Ngoài ra, N là số của ngón tay, và nó được đặt thành giá trị là hai trong nghiên cứu này. Lực bình thường của mỗi ngón tay mềm phản ánh khả năng cầm nắm của nó, và nó được định nghĩa là lực nắm của ngón tay mềm khi hệ số ma sát được đặt thành các giá trị cụ thể liên quan đến vật liệu được sử dụng. Theo [12], không có giải pháp phân tích cho lực bám vì vấn đề là phi tuyến tính và có thể có một số giải pháp. Hình 6 mô tả sơ đồ được sử dụng để tính toán một giải pháp tìm lực cầm nắm và năm vị trí của tay gấp mềm trong quá trình gấp vật.



Hình 6. Hình dạng và vị trí của tay gấp mềm

H được định nghĩa là độ lệch đối tượng thể hiện khoảng cách giữa vị trí ban đầu của đầu ngón tay và điểm tiếp xúc với vật được nắm bắt dọc theo phương X. Trong nghiên cứu này, các đối tượng được cầm nắm được giả định là cứng hình khối, do đó quỹ đạo của các vật thể được nắm bắt được mô tả là $X = H$. Quy trình tính toán được giải thích theo năm bước tương ứng với năm vị trí của ngón tay mềm như sau:

- Bước 1: Mô hình ngón tay được xây dựng và các điều kiện ban đầu được xác định. Lực nắm và áp suất được cấp vào 65 kPa so với giá trị ban đầu của chúng. Dưới tác động của lực nắm và áp suất, vị trí điểm $P(X_p, Z_p)$ của đầu ngón tay được tính bằng cách sử dụng mô hình ngón tay.

- Bước 2: Nếu giá trị X_p ngày càng tăng thì tiếp tục tính toán. Ngoài ra, nếu giá trị X_p nhỏ hơn H, thì tăng áp suất lên. Khi giá trị của X_p bằng H, đầu ngón tay sẽ chạm vào đối tượng.

- Bước 3: Để gạt đối tượng, lực nắm (F_N) là cần thiết để điều chỉnh đến giá trị mong muốn của nó. Giá trị X_p vượt quá giá trị H. Cân nhắc sự đánh đổi giữa độ chính xác, khả năng giải quyết và chi phí tính toán, mức tối đa độ vọt lố cho phép được đặt thành $e_H = 0,1$ mm, và các kích thước bước cho lực bám và áp suất cấp vào được đưa ra tương ứng là 0,01 N và 5 kPa.

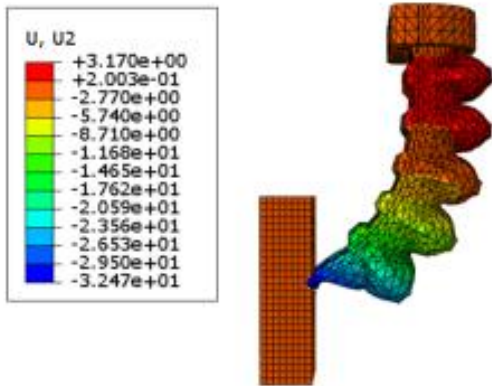
- Bước 4: Thông qua việc điều chỉnh áp suất cấp vào và lực bám, tính toán được cập nhật lặp lại. Các đầu ngón tay trượt dọc theo bề mặt của đối tượng trong quá trình tương

tác của nó với đối tượng.

- Bước 5: Quá trình tiếp tục cho đến khi đầu ngón tay cuối cùng tách ra khỏi đối tượng và giá trị X_p giảm dần.

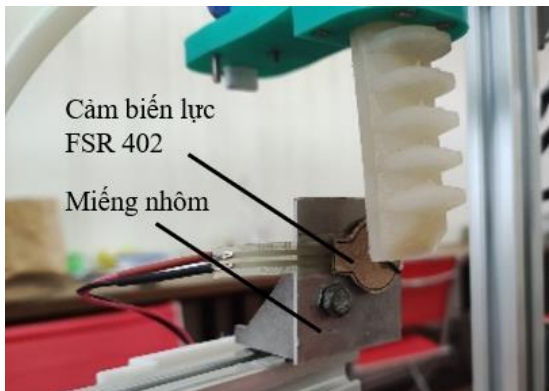
Vị trí của đầu ngón tay được đánh dấu bằng ký hiệu điểm P đã được kiểm tra bằng cách sử dụng biểu đồ. Nếu đầu ngón tay không tiếp xúc với bất cứ thứ gì, lực nắm F_N được đặt bằng 0 trong phép tính ($F_N = 0$).

Mô phỏng quá trình kẹp và xác định lực trên phần mềm Abaqus (vật liệu ốt):



Hình 7. Ngón tay co lại với áp suất cấp vào 65kPa

Thực nghiệm sử dụng cảm biến lực FSR 402 1kg. Thí nghiệm được bố trí đo lực cho vật thể chất liệu nhôm và ốt như sau:

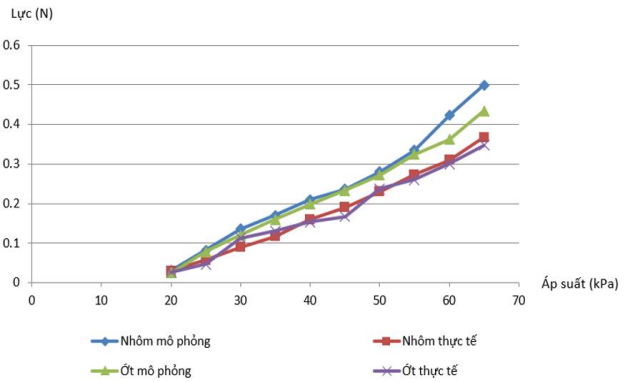


Hình 8. Đo lực tác dụng trên thanh nhôm



Hình 9. Đo lực tác dụng trên quả ốt

Dưới đây là kết quả của thí nghiệm đo lực kẹp cho hai loại vật liệu nhôm và ốt dùng cảm biến lực FSR 402.

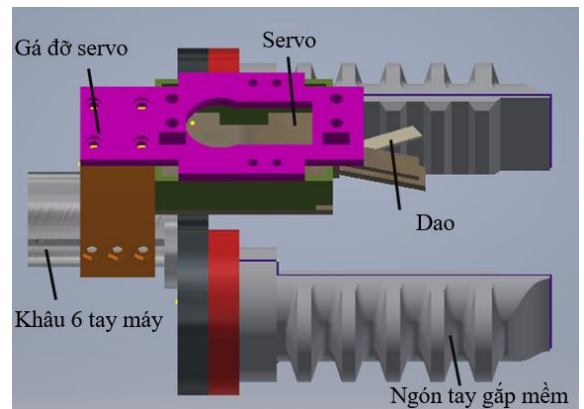


Hình 10. Đồ thị kết quả thí nghiệm đo lực kẹp

Ở cả hai loại vật liệu, lực tác dụng ở thực nghiệm so với mô phỏng là nhỏ hơn và lệch xấp xỉ 10%. Với kết quả lực như trên đảm bảo được việc không làm tổn hại đến quả ốt.

2.5. Thiết kế chế tạo cơ cấu cắt cuốn ốt

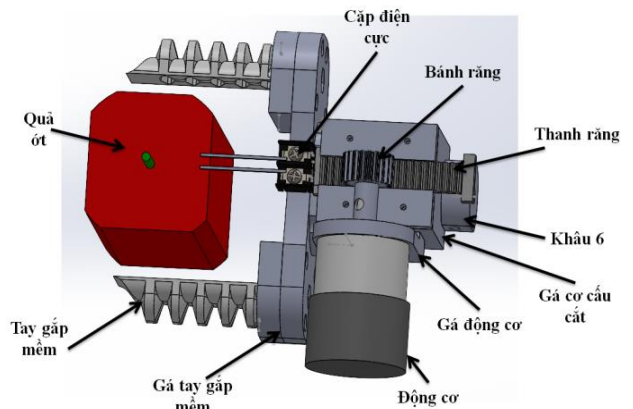
Phương pháp 1: cắt cuốn ốt bằng dao.



Hình 11. Cơ cấu cắt cuốn ốt bằng dao

Cơ chế vận hành của cơ cấu cắt bằng dao đơn giản, bộ gá dao sử dụng động cơ servo có momen phù hợp. Khi servo hoạt động, lưỡi dao chuyển động theo và đi qua cắt cuốn ốt.

Phương pháp 2: cắt cuốn ốt bằng hồ quang điện hay “Electric arc thermal cutting system”, EATCS [1].



Hình 12. Cơ cấu cắt cuốn ốt bằng hồ quang điện EATCS

Trong EATCS, đường kính của điện cực và điện áp đầu ra là những phần quan trọng của hệ thống ảnh hưởng đến thời gian cắt và tốc độ cắt. Đường kính của các điện cực được lựa chọn là 1 mm. Để cắt hiệu quả hoạt động bằng

cách sử dụng điện cực đồng và điện áp cao, các răng của nhô được tạo ra trên điện cực để khi điện cực di chuyển về phía trước, các vết khía nhỏ trên điện cực giúp cắt cuống quả hiệu quả đồng thời làm tăng ma sát giữa hai bề mặt. Tốc độ của động cơ DC di chuyển các điện cực cũng được coi là ảnh hưởng đến mối quan hệ giữa thời gian cắt và tốc độ cắt, do đó tốc độ của động cơ DC được giữ không đổi trong suốt quá trình hoạt động.

Cơ chế vận hành của hệ thống này là biến đổi chuyển động quay từ động cơ thành chuyển động tịnh tiến để thực hiện động tác cắt. Cơ cấu cơ khí được sử dụng trong hệ thống là bánh răng, thanh răng. Nhóm đã lựa chọn một động cơ DC có kích thước, trọng lượng và mô-men phù hợp lắp đặt ở phần cuối khung đỡ để tạo ra hành trình tịnh tiến dài nhất. Phần gá của cơ cấu bánh răng, thanh răng cũng được thiết kế với chiều cao nhất định là 40 mm đảm bảo việc tịnh tiến của thanh răng không ảnh hưởng tới phần gá động cơ của khâu 6. Trong phần cắt, hai điện cực bằng đồng được lắp đặt ở đầu phía trước của rãnh thanh răng và đầu vào điện áp được cung cấp phía dưới rãnh cho các điện cực. Để thực hiện được hành động cắt cần một điện áp cao nhất định để tạo ra hồ quang điện, hơn nữa không thể sử dụng điện áp đầu vào trực tiếp từ pin hoặc sử dụng trực tiếp từ lưới điện. Vì vậy, nhóm tác giả sử dụng bộ chuyển đổi điện áp từ 12 VDC lên điện áp xấp xỉ 300 VAC với tần số 50 Hz ở dòng điện 20 mA để phục vụ hoạt động cắt. Khi cuống quả ớt chuông tiếp xúc với điện cực, điện áp cao tạo thành hồ quang điện giữa hai điện cực gây ra hành động cắt.

Kết quả thực nghiệm 2 phương pháp cắt với cùng cuống ớt đường kính 3 mm.

Bảng 2. Kết quả thời gian cắt cuống ớt (giây)

Phương pháp	Lần 1	Lần 2	Lần 3	Lần 4	Lần 5
Dao	2	2,5	2,2	2	2,2
EATCS	25	20	25	23	23

Kết luận:

- + Phương pháp cắt cuống ớt bằng dao:
 - Ưu điểm: dễ thiết kế, nhỏ gọn, thời gian cắt nhanh.
 - Nhược điểm: quy trình thay dao phức tạp, trọng lượng dồn toàn bộ vào khâu 6 của tay máy.
- + Phương pháp cắt cuống ớt bằng hồ quang điện:
 - Ưu điểm: nhỏ gọn, an toàn.
 - Nhược điểm: thời gian cắt chậm hơn so với phương pháp dùng dao, nhược điểm này có thể khắc phục bằng cách tăng điện áp ở hai đầu điện cực hoặc giảm đường kính của cặp điện cực.

3. Kết luận

Nhìn chung, thông qua các thí nghiệm, mỗi quy trình làm việc của việc thu hoạch ớt đảm bảo được mục đích đã đặt ra: thay thế nhân lực, đảm bảo thực phẩm không bị tổn hại khi hái, gắp, đảm bảo thời gian thu hoạch. Tuy nhiên, vấn đề ánh sáng môi trường ảnh hưởng lớn đến quy trình nhận diện ớt, một phần cảm biến chưa hỗ trợ nhận diện ở điều kiện môi trường khác nhau, hiện tượng nhiễu là không tránh khỏi. Nhóm tác giả đề xuất kết hợp cảm biến ánh sáng và điều khiển đèn chiếu để hỗ trợ cho hệ thống, đảm bảo môi trường cho cảm biến hoạt động tốt nhất.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả cảm ơn sự giúp đỡ của các kỹ sư Lê Tự Huy và Nguyễn Bá Khải trong quá trình thiết kế, chế tạo và thực nghiệm hệ thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S. Bachche, "Automatic Harvesting for Sweet Peppers in Greenhouse Horticulture", Doctoral Dissertation, Kochi University of Technology, Kochi, Japan, 2013.
- [2] The Voice of Sonoma County Agriculture, "Farm Labor Shortages Continue to Plague California's Agriculture Industry", [Online] Available: <https://sonomafb.org/farm-labor-shortages-continue-to-plague-californias-ag-industry>. [Accessed: Jan. 22nd, 2023].
- [3] R. Jimenez, R. Ceres, and J.L. Pons, "A survey of computer vision methods for locating fruit on trees", *Transaction of ASAE*, Vol. 43, No. 6, pp. 1911-1920, 2000.
- [4] C. Annin, "Open source 6 axis robots you can build yourself", [Online] Available: <https://www.anninrobotics.com>. [Accessed: July 26th, 2023].
- [5] V.Q. Vo and V.H.P. Ngo, "Research on using Leap Motion to control a 6-step automatic robot combined with a soft gripper". Graduation thesis, The University of Danang - University of Science and Technology, Danang, 2021.
- [6] J.J. Craig, *Introduction to robotics: Mechanics and control*, Fourth Edition, Pearson, 2018.
- [7] Wikipedia, "Kinect" [Online] Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Kinect> [Accessed: July 26th, 2023].
- [8] OpenCV, "Cascade Classifier", [Online] Available: https://docs.opencv.org/3.4/db/d28/tutorial_cascade_classifier.html [Accessed: July 26th, 2023].
- [9] P. Viola and M. Jones, "Robust Real-Time Face Detection", *International Journal of Computer Vision*, Vol. 57, No. 2, pp. 137-154, 2004.
- [10] H.-N. Le *et al.*, "Behavior analysis of soft pneumatic actuator gripper by using image processing technology", in *proc. 2020 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*, Beijing, China, 2020, pp. 1798-1802.
- [11] A. Raja *et al.*, "Coulomb engineering of the bandgap and excitons in two-dimensional materials", *Nature Communications*, Vol. 8, No. 1, pp. 1-7, 2017.
- [12] W. Boran *et al.*, "Design, modelling and simulation of soft grippers using new bimorph pneumatic bending actuators", *Cogent Engineering*, Vol. 4, No. 1, 1285482, 2017. <https://doi.org/10.1080/23311916.2017.1285482>